

ЛІТЕРАТУРА



НАВЧАЛЬНО – МЕТОДИЧНА

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра «Технології і обладнання зварювального
виробництва»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичного заняття №2
з дисципліни «Матеріали для зварювання
плавленням, наплавлення і напилення»

на тему:

«Розрахунок і вибір параметрів режиму
зварювання і геометричних розмірів шва
при зварюванні плавким електродом у
вуглекислому газі»

Тернопіль,
2016

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра «Технології і обладнання зварювального виробництва»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичного заняття №2
з дисципліни «Матеріали для зварювання плавленням,
наплавлення і напилення»

на тему:

«Розрахунок і вибір параметрів режиму зварювання
і геометричних розмірів шва при зварюванні плавким
електродом у вуглекислому газі»

Для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр»,
спеціальності 6.050504 «Зварювання»

Тернопіль,
2016

Методичні вказівки розроблено відповідно з навчального плану підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня " бакалавр", спеціальності 6.050504 "Зварювання", а також робочої програми з дисципліни "Матеріали для зварювання плавленням, наплавлення і напилення"

Укладачі: к.т.н., доц. Татарин Б.П.
ст. викладач Береженко Б.М.
асистент Сенчишин В.С.
Рецензент: к.т.н., доц. Сташків М.Я.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри «Технології і обладнання зварювального виробництва»
Протокол № _____ від "___" _____ 20__ р.

Затвердила та рекомендувала до друку методична комісія
ФМТ ТНТУ імені Івана Пулюя, протокол № ____ від _____ 20__ р.

ЗМІСТ

1 Стикові шви без розроблення кромок	6
1.1 Розрахунок і вибір параметрів режиму зварювання	6
1.2 Розрахунок геометричних розмірів стикового шва без розроблення кромок	13
2 Стикові шви з розроблення кромок і зазором. Розрахунок параметрів режиму зварювання і геометричних параметрів шва	18
3 Багатопрохідні стикові шви. Розрахунок параметрів режиму зварювання і геометричних параметрів шва	19
4 Кутові шви. Розрахунок параметрів режиму зварювання і геометричних розмірів шва	22
5 Рекомендації по вибору марки електродного дроту для зварювання різних марок сталей	24
6 Особливості розрахунку параметрів режиму зварювання в інертних газах	25
7 Приклади розрахунку і вибору параметрів режиму зварювання в вуглекислому газі	26
Перелік посилань	36
Додатки	37
Додаток 1	
Додаток 2	

1 Стикові шви без розроблення кромок

1.1 Розрахунок і вибір параметрів режиму зварювання

Основними параметрами режиму зварювання в вуглекислому газі, які суттєво впливають на геометричні розміри і форму шва, є:

- 1) діаметр і марка електродного дроту ($d_{\text{ел}}$), мм;
- 2) величина зварювального струму ($I_{\text{зв}}$), А;
- 3) величина напруги на дузі ($U_{\text{д}}$), В;
- 4) швидкість подачі електродного дроту ($V_{\text{п.д.}}$), м/год.;
- 5) швидкість зварювання ($V_{\text{зв}}$), м/год.;
- 6) величина вильоту електроду ($l_{\text{ел}}$), мм;
- 7) витрати захисного газу ($Q_{\text{г}}$), л/хв.

ГОСТ 14771-76 передбачає зварювання металу в вуглекислому газі товщиною до 120 мм із обов'язковим розробленням кромок металу товщиною більше ніж 10 мм. При цьому зменшені кути розроблення до 40° і величина притуплення до 1-2 мм при зазорах 0-5 мм. Стикові з'єднання з товщиною зварюваних елементів від одного до 10 мм рекомендується зварювати однобічним зварюванням без розроблення кромок [1].

Стандарт передбачає використання зварювального дроту діаметром 0,8-1,2 мм. Допускається застосовувати основні типи швів зварних з'єднань за ГОСТ 5264-80. Вихідною величиною для розрахунку і вибору параметрів режиму зварних стикових з'єднань є товщина металу (S).

1.1.1 Визначення глибини проплавлення

Основні геометричні параметри шва, які обумовлюють надійність зварного стикового з'єднання – глибина проплавлення, яка розраховується за наступними формулами:

- 1) для однобічного зварювання (рис. 1) додаток 2:

$$h = (0,7 \dots 0,8) \cdot S, \text{ мм} \quad (1)$$

2) для двобічного зварювання (рис. 2) додаток 2:

$$h_1 = h_2 = 0,6 \cdot S, \text{ мм}, \quad (2)$$

або

$$h_1 = h_2 = 0,5 \cdot S + (2 \pm 3), \text{ мм}. \quad (3)$$

Таким чином, необхідні умови отримання повного провару металу при двобічному зварюванні стикового з'єднання (рис.2, додаток 2) можна розрахувати за формулою [1, с.186]:

$$h_1 + h_2 = S + m, \text{ мм} \quad (4)$$

де h_1, h_2 - глибина проплавлення з кожного боку, мм;

S - товщина зварюваного металу, мм;

m - величина перекриття швів, мм.

Але ця умова недостатня для визначення якості зварних з'єднань. Для того, щоб шви мали високу технологічну і експлуатаційну надійність, необхідно при заданій величині проплавлення (h) розрахувати величину ширини шва (b) і величину посилення шва (a).

1.1.2 Визначення діаметра електродного дроту і його марки

Діаметр електродного дроту вибирається в залежності від товщини зварюваного металу. Рекомендовані значення діаметрів дроту вказані в таблиці 1. При автоматичному зварюванні діаметр електродного дроту не повинен перевищувати 2 мм. В подальшому, вибраний з таблиці 1, діаметр електродного дроту уточнюється в залежності від величини зварювального струму. Марка дроту вибирається в залежності від марки зварюваного металу з таблиці 11.

Таблиця 1- Залежність діаметру електродного дроту ($d_{ел}$) від товщини зварюваного металу (S)

Товщина металу (S), мм	0,8-2,0	3,0-6,0	8,0-14,0	16,0-20,0	22,0-40,0
Діаметр дроту ($d_{ел}$), мм	0,8-1,2	1,2-1,6	1,2-2,0	1,4-3,0	1,6-4,0

1.1.3 Визначення величини зварювального струму

Величина зварювального струму визначається за формулою [2, с.192]:

$$I_{зв} = \frac{h}{K_a} \cdot 100, A \quad (5)$$

де h - розрахункова глибина проплавлення, яка визначається за формулою (1) або (2), мм;

K_a - коефіцієнт, який залежить від діаметра електродного дроту, (мм/А), його величина вибирається з таблиці 2.

Таблиця 2 – Залежність коефіцієнта (K_a) від діаметру електродного дроту ($d_{ел}$) [2, с.193]

$d_{ел}, мм$	1,2	1,4	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0
$K_a, мм/100A$	2,10	2,0	1,75	1,55	1,45	1,35	1,20

При зварюванні високолегованих сталей, враховуючи їх теплопровідність, отримане значення струму потрібно зменшити на 10-30%.

1.1.4 Уточнення діаметру електродного дроту

По розрахунковому значенню зварювального струму уточнюємо діаметр електродного дроту, використовуючи дані таблиць 3 і 4 [2, с.193] за формулою:

$$d_e = 1,13 \sqrt{\frac{I_{зв}}{j}}, \text{мм} \quad (6)$$

де j - рекомендована густина струму, А/мм^2 , вибрана з таблиці 3.

Таблиця 3 - Залежність густини струму (j) від діаметру електроду ($d_{ел}$) при зварюванні стикових швів без розроблення кромки

Діаметр електроду ($d_{ел}$), мм	1,2	1,4	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0
Густина струму (j), А/мм^2	100-300	90-250	80-230	65-200	45-90	35-60	30-50

При зварюванні з розробленням кромки допустима густина струму зростає.

Таблиця 4 - Залежність величини зварювального струму і напруги на дузі від діаметру електродного дроту

Діаметр електроду, мм	0,5	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,5
Зварювальний струм, А	30-100	50-150	60-180	90-400	100-500	120-550	200-600	250-700
Напруга на дузі, В	18-20	18-22	18-24	18-42	18-45	19-46	23-40	24-42

1.1.5 Визначення величини вильоту електроду

Величина вильоту електроду впливає на стабільність процесу зварювання і формування розмірів шва. З збільшенням вильоту електрода збільшується коефіцієнт розплавлення за рахунок підігрівання електродного дроту зварювальним струмом. Надмірне збільшення вильоту електроду приводить до погіршення формування шва і до підвищення розбризкування електродного металу. При малому вильоті збільшується набризкування електродного металу на струмопідвідний мундштук і сопло, а також ускладнюється спостереження за процесом. Тому для різних діаметрів маловуглецевих і низьколегованих електродних дротів оптимальними є встановлені дослідним шляхом наступні значення величини вильоту електроду (таблиця 5).

Таблиця 5 - Залежність величини вильоту електроду від діаметра дроту

Діаметр (d_{el}), мм	0,5-0,8	1,0-1,4	1,6-2,0	2,5-3,0
Виліт (l_{el}), мм	6-12	8-15	15-25	18-30

Для електродного дроту виготовленого із високолегованих сталей виліт електроду зменшується в 1,5 рази, так як, їх омичний опір значно більший.

1.1.6 Визначення напруги на дузі

Напруга на дузі визначається в залежності від величини зварювального струму і діаметра електродного дроту за формулою [2, с.194]:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot I_{зв}}{1000 \cdot \sqrt{d_{el}}} \pm 1, B \quad (7)$$

Діапазон оптимальних напруг може бути також визначений з графіків, побудованих на основі статистично оброблених експериментальних даних, приведених на рисунку 3, додаток 2 з врахуванням даних таблиці 4.

1.1.7 Визначення швидкості подачі зварювального дроту

Швидкість подачі електродного дроту залежить від величини зварювального струму, діаметра електродного дроту і визначається за формулою:

$$V_{n.d} = \frac{\alpha_p \cdot I_{зв}}{F_{ел} \cdot \gamma}, \text{ м/год} \quad (8)$$

де $V_{n.d}$ - швидкість подачі дроту, м/год;
 $I_{зв}$ - зварювальний струм, А;
 $F_{ел}$ - площа поперечного перерізу електродного дроту, м²;
 γ - густина металу електродного дроту, Г/м³ (для сталей $\gamma = 7,8 \cdot 10^{-6}$ Г/м³);
 α_p - коефіцієнт розплавлення дроту (Г/А·год), який визначається з графіку рис. 4, додаток 2.

При відсутності даних про коефіцієнт розплавлення (α_p) і швидкості подачі електродного дроту можна визначити з графіка рис. 5, додаток 2.

1.1.8 Визначення швидкості зварювання

Практикою підтверджено, що при автоматичному зварюванні задовільне формування шва відбувається в тому випадку, якщо добуток: $A = I_{зв} \cdot V_{зв}$, А·м/год має визначене значення, вказане в таблиці 6.

Таблиця 6 - Значення коефіцієнта (A) в залежності від діаметра електродного дроту ($d_{ел}$) [2,с.194]

$d_e, мм$	1,2	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0
$A,$ $A \cdot м/год$	(2-5) $\cdot 10^3$	(5-8) $\cdot 10^3$	(8-12) $\cdot 10^3$	(12-16) $\cdot 10^3$	(16-20) $\cdot 10^3$	(20-25) $\cdot 10^3$

Швидкість зварювання визначається за формулою [2, с.194]:

$$V_{зв} = \frac{A}{I_{зв}}, м / год \quad (9)$$

Якщо на кресленнях задані геометричні розміри шва і зазор між зварюваними виробами, то швидкість зварювання розраховується за формулою:

$$V_{зв} = \frac{F_{ел} \cdot V_{н.ел.}}{F_n}, \quad (10)$$

де $V_{н.ел}$ - швидкість подачі електродного дроту, $м/год$;

$F_{н.ел.}$ - площа поперечного перерізу електродного дроту, $мм^2$;

F_n - площа поперечного перерізу наплавленого металу, $мм^2$.

Площа поперечного перерізу наплавленого металу розраховується за формулою:

$$F_n = F_B + F_з, \quad мм^2 \quad (11)$$

де F_B -площа поперечного перерізу валика шва, розраховується за формулою:

$$F_B = \mu_B \cdot v \cdot a, \quad мм^2 \quad (12)$$

Площа поперечного перерізу $F_з$ зазору розраховується за формулою:

$$F_3 = S \cdot e, \text{ мм}^2 \quad (13)$$

де S – товщина зварюваного металу, мм;

e – величина зазору, мм.

Позначення див. в формулі 24 і на рис.7, додаток 2.

1.1.9 Визначення витрат захисного газу

Витрати вуглекислого газу залежать від діаметру електродного дроту (зварювального струму) і швидкості зварювання. Орієнтовні дані по вибору витрат захисного газу наведені в таблиці 7.

Таблиця 7 - Витрати вуглекислого газу в залежності від діаметру електродного дроту і відстані сопла пальника до поверхні виробу

Діаметр дроту, мм	0,5-0,8	1,0-1,4	1,6-2,0	2,5-30
Витрата газу, л/хв	5-8	8-16	15-20	20-30
Відстань від сопла до виробу, мм	7-10	8-14	12-18	16-22

Відстань від сопла пальника до поверхні виробу повинна бути в межах 8...15 мм.

1.2 Розрахунок геометричних розмірів стикового шва без розроблення кромки

Вибрані і розраховані параметри режиму зварювання дають можливість визначити геометричні розміри шва.

1.2.1 Основними геометричними розмірами шва є:

- 1) глибина проплавлення -h;
- 2) ширина шва- в;
- 3) підсилення шва -а;
- 4) площа поперечного перерізу проплавлення -F_{пр};
- 5) площа поперечного перерізу наплавлення -F_н.

Крім вказаних параметрів, зварний шов має також:

- а) коефіцієнт форми провару - $\psi_{пр}$;
- б) коефіцієнт форми валика - $\psi_{в}$.

1.2.1 Визначення площі поперечного перерізу проплавлення зварюваного металу

Площа поперечного перерізу проплавлення зварюваного металу визначається за формулою:

$$F_{пр} = \frac{I_{зв} \cdot U_{\delta} \cdot \eta_{пр}}{\rho_{мл} \cdot \gamma \cdot V_{зв}}, \text{ м}^2 \quad (14)$$

де γ - густина металу (для сталі $7,8 \cdot 10^{-6}$), Г/м³;

$\rho_{мл}$ - теплоємність металу, Дж/Г;

$\eta_{пр}$ - повний ККД процесу, який визначається за формулою:

$$\eta_{пр} = \eta_{\delta} \cdot \eta_{т} \quad (15)$$

де η_{δ} - ефективний ККД дуги (визначається з графіка рис.6 додаток 2, або вибирається в межах 0,75...0,9);

$\eta_{т}$ - термічний ККД процесу (при зварюванні у вуглекислому газі приймаємо, $\eta_{т}=0,24...0,48$).

1.2.2 Визначення площі поперечного перерізу наплавлення металу

Площа поперечного перерізу наплавлення металу визначається за формулою:

$$F_n = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{зв}}, \text{ см}^2 \quad (16)$$

де $I_{зв}$ - зварювальний струм, А;

γ - густина металу дроту, Г/м^3 ;

$V_{зв}$ - швидкість зварювання, м/год ;

α_n - коефіцієнт наплавлення, $\text{Г/А} \cdot \text{год}$ дорівнює:

$$\alpha_n = \alpha_p(1-\psi), \quad \text{Г/А} \cdot \text{год}, \quad (17)$$

де α_p - коефіцієнт розплавлення, який визначається з графіка рис.4, додаток 2;

ψ - коефіцієнт втрат металу на розбріскування.

Для кремнієво-марганцевого дроту при оптимальній напрузі в діапазоні густини струму $j=60-320 \text{ А/мм}^2$ коефіцієнт втрат визначається за формулою:

$$\psi = 4,72 + 17,6 - 2\gamma - 4,8 \cdot 10^{-4} j^2 \quad (18)$$

Так як, розрахована напруга не все є оптимальною з точки зору перенесення металу, то значення коефіцієнта втрат можна вибрати в залежності від характеру перенесення металу з таблиці 8.

Таблиця 8 - Характер перенесення електродного металу при зварюванні у вуглекислому газі

Діаметр електроду ($d_{ел}$), мм	Характер перенесення електродного металу при зварюванні в CO ₂					
	Великокапельне		Змішане		Дрібнокапельне	
	$I_{зв}, A$	$U_{д}, B$	$I_{зв}, A$	$U_{д}, B$	$I_{зв}, A$	$U_{д}, B$
1,0	70-180	19-29	-	-	-	-
1,2	100-200	18-25	200-350	25-35	350-550	35-50
1,4	100-300	25-27	200-400	25-30	370-650	30-45
1,6	150-320	27-31	500-400	30-35	450-700	35-50
2,0	175-270	22-32	200-400	28-37	500-1000	35-45
3,0	-	-	470-500	-		До 48

1.2.3 Визначення коефіцієнта форми провару

Аналіз експериментальних даних показує, що на величину коефіцієнта форми провару впливає величина зварювального струму і напруги на дузі та діаметр електродного дроту.

Залежність коефіцієнта форми провару (ψ_{np}) від основних параметрів режиму зварювання розраховується за формулою:

$$\psi_{np} = K' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{зв}) \cdot \frac{d_{ел} \cdot U_{д}}{I_{зв}}; \quad (19)$$

де K' - коефіцієнт, який залежить від роду струму, густини і полярності.

При зварюванні на густині струму в електродному дроті $j < 120$ А/мм², величина коефіцієнта (K') розраховується за формулою:

$$K' = 0,367 j^{0,1325} \quad (20)$$

Таблиця 9 - Значення коефіцієнта K' для густини струму (j) в межах 30...110 А/мм²

Густина струму, (j), А/мм ²	30	40	50	60	70	80	90	100	110
K'	0,7	0,74	0,77	0,8	0,83	0,85	0,87	0,89	0,9

При зварюванні на густині струму $j \geq 120$ А/мм², величина коефіцієнта залишається незмінною для постійного струму зворотної полярності і становить 0.92, а для прямої полярності становить 1,12. Коефіцієнт форми провару повинен бути в межах 0,8...4,0.

1.2.4 Визначення глибини проплавлення зварюваного металу за параметрами режиму зварювання

Величина глибини проплавлення розраховується за формулою:

$$h' = K \sqrt{\frac{q_n}{\psi_{np}}}; \text{ м} \quad (21)$$

де q_n -ефективна погонна енергія, Дж/м.

Ефективна погонна енергія визначається за формулою:

$$Q_n = \frac{I_{зв} \cdot U_{\partial} \cdot \eta_{\partial}}{V_{зв}}, \text{ Дж / м} \quad (22)$$

Значення η_d - береться з формули (15); $\psi_{пр}$ - коефіцієнт форми провару /визначений за формулою 19/; K - коефіцієнт, залежить від марки зварюваного металу (при зварюванні маловуглецевих низьколегованих сталей в CO_2 - $K=0,0165$).

При глибині проплавлення меншій ніж товщина металу необхідно збільшити зварювальний струм, або зменшити швидкість зварювання.

1.2.5 Визначення ширини шва

Знаючи глибину проплавлення і коефіцієнт форми провару, можна визначити ширину шва за формулою:

$$b = \psi_{пр} \cdot h \quad (23)$$

Коефіцієнт форми провару і глибина проплавлення раніше визначені за формулами 1, 2, 19, 21.

1.2.6 Визначення величини підсилення шва

При зварюванні стикових з'єднань без скосу кромek і зазору, площа поперечного перерізу валика F_v дорівнює площі наплавлення F_n і визначається за формулою:

$$F_v = F_n = \mu_v \cdot b \cdot a \quad (24)$$

Площа наплавлення і ширина шва раніше визначені за формулами 16 і 25.

μ_v - коефіцієнт повноти валика, а це є відношення площі валика до площі прямокутника, основа і висота якого відповідно рівні ширині і висоті валика. При автоматичному і напівавтоматичному зварюванні в захисному газі в діапазоні параметрів режиму, які забезпечують задовільне формування шва, коефіцієнт повноти

валика змінюється в вузьких межах і практично має постійне значення, яке становить $-0,73$.

Величина підсилення шва визначається за формулою:

$$a = \frac{F_n}{0,73 \cdot \sigma}; \quad (25)$$

При наявності зазору між зварюваними виробами, за формулами 11 і 13 визначаються F_3 і F_b , а потім за формулою 25 підсилення шва (а).

1.2.7 Визначення коефіцієнта форми валика

Коефіцієнт форми валика визначається за формулою:

$$\psi_b = \sigma / a, \quad (26)$$

При автоматичному і напівавтоматичному зварюванні значення коефіцієнта форми проплавлення ($\psi_{пр}$) повинні знаходитися в межах $0,8 \dots 4$. При значенні $\psi_{пр} < 0,8$, будуть утворюватися шви, схильні до утворення гарячих тріщин, а при значенні $\psi_{пр} > 4$ - будуть широкі шви з малою глибиною провару, що не раціонально з точки зору використання теплової потужності дуги і приводить до збільшення зварюваних деформацій.

Значення коефіцієнта форми валика (ψ_b) для добре сформованих швів не повинно виходити за межі $7 \dots 10$. Значення $\psi_b < 7$ має місце при вузьких і високих швах. Такі шви не мають плавного переходу від шва до основного металу і мають недостатню працездатність при змінних навантаженнях. Значення $\psi_b > 10$ відповідає широким і низьким швам. Такі шви нераціональні по тих же причинах, що і шви з великим значенням ψ_b .

2 СТИКОВІ ШВИ З РОЗРОБЛЕННЯ КРОМОК І ЗАЗОРОМ. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ І ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ШВА

ГОСТ14771-76 передбачає зварювання з обов'язковим розробленням кромок металу товщиною більше 10 мм при зазорах в межах 0...3 мм.

Розрахунок параметрів режиму зварювання стикових з'єднань з зазором і розробленням кромок (рис.7) ведеться в наступній послідовності:

1) розраховують параметри режиму зварювання за формулами 1-10;

2) визначають основні геометричні розміри шва для зварювання без розроблення кромок і зазору за формулами 14-25. Виняток складає визначення коефіцієнта форми провару, який при наявності розроблення кромок дорівнює: $\Psi_{np} = e/S$.

При наявності розроблення кромок глибина проплавлення і підсилення шва буде відрізнятися від отриманих при зварюванні стикових з'єднань без розроблення кромок. Однак, розроблення і тип шва не впливають на форму шва. Практично контур провару і загальна висота шва (H) при незмінних параметрах режиму зварювання залишаються однаковими для обох випадків рис.1 і рис.7 (додаток 2).

Тому з достатньою точністю для практичних розрахунків можна прийняти, що:

$$H = h + a = h' + a' = \text{const} \quad (27)$$

Знаючи загальну висоту шва, можна визначити глибину проплавлення при наявності зазору і розроблення кромок:

$$H' = H - a' \quad (28)$$

де H - загальна висота шва;

h' - глибина проплавлення при наявності розроблення кромки і зазору.

Величина підсилення шва визначається за формулою:

$$a' = \frac{F_H - d^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - H \cdot e}{0,73 \cdot b - e}; \quad (29)$$

де F_H - площа поперечного перерізу наплавлення для параметрів режиму зварювання стикового з'єднання без розроблення кромки і зазору яка визначається за формулою 16;

d - висота розроблення кромки;

α - кут розроблення кромки;

H - загальна висота шва, виконаного без розроблення кромки і зазору, яка визначається за формулою 27;

e - зазор;

b - ширина шва, яка визначається за формулою 23.

3 БАГАТОПРОХІДНІ СТИКОВІ ШВИ. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ І ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ШВА

При розрахунку параметрів режиму зварювання багатопротічних швів необхідно забезпечити:

- 1) проплавлення притуплення;
- 2) заповнення розроблення кромки з отриманням валика шва необхідної форми.

Необхідна глибина проплавлення притуплення повинна бути забезпечена при виконанні першого шару шва (проходу).

При зварюванні на великих струмах можна отримати форму провару не сприятливу для кристалізації металу шва, яка приводить до утворення гарячих тріщин. Тому, допустиму густину струму в

електродному дроті треба вибирати ближче до нижньої межі діапазону допустимих густин струму для даного діаметру електродного дроту (таблиця 3).

3.1 Розглянемо найбільш загальний випадок багатопрохідного двобічного зварювання стикових швів з розробленням кромок при наявності зазору (рис. 8, додаток 2).

Порядок розрахунку наступний:

- 1) визначаємо величину проплавлення притуплення за формулою 2 або 3.
- 2) визначаємо параметри шва за формулами 14-25, які мали місце при зварюванні на прийнятих параметрах режиму зварювання стикового з'єднання без розроблення кромок і зазору;
- 3) визначаємо загальну висоту шва за формулою 27;
- 4) визначаємо висоту заповнення без розроблення кромок при зварюванні за один прохід за наступною формулою:

$$a_1 = H_1 - h_1 \quad (30)$$

або:

$$a_1 = \sqrt{\frac{F_n - H_1 \cdot e}{\operatorname{tg} \alpha / 2}}; \quad (31)$$

де F_n – площа наплавлення за один прохід на вибраних параметрах режиму, яка визначається за формулою 16;

H_1 – загальна висота шва виконаного на прийнятних параметрах режиму без розроблення кромок і зазору, визначається за формулою 21, 25 і 27;

e – зазор;

α – кут розроблення;

- 5) розрахунок наступних проходів зварювання проводиться, виходячи з умов заповнення розроблення. Визначаємо загальну площу розроблення з одного боку зварного з'єднання і частину шва,

що залишається після першого проходу, яку необхідно заповнити наступними проходами за формулою:

$$F_n = F_{роз.} - F_{н1}; \quad (32)$$

де $F_{роз.}$ – площа поперечного перерізу розроблення з врахуванням зазору (рис.7, додаток 2);

$F_{н1}$ – площа наплавлення першого проходу, яка визначається за формулою 16.

Параметри режиму зварювання наступних швів вибирають (розраховують) таким чином, щоб отримати гарно сформовані шви з плавним переходом від основного до металу шва. Це досягається застосуванням більшого діаметра електродного дроту в порівнянні з першим проходом. Вибравши параметри режиму зварювання наступних проходів, знаходимо площу наплавлення шарів за формулою 16. Площа кожного наступного заповнюючого шару не повинна перевищувати 70...100 мм².

Потім визначають кількість заповнюючих шарів за формулою:

$$n = F_n / F_{з.ш}; \quad (33)$$

де $F_{з.ш}$ – площа поперечного перерізу наплавлення заповнюючого шару.

Останнім виконується заключний шар, який забезпечує отримання зварного шва з даними коефіцієнтами форми проплавлення валика. Ширина шва повинна перекривати ширину розроблення на 2...3 мм з кожного боку.

При двобічному зварюванні параметри режиму першого проходу з другого боку повинні бути вибраними (розрахованими), таким чином, щоб забезпечити виконання умови (рис. 8, додаток 2):

$$h_1 + h_2 = c + m; \quad (34)$$

де h_1 – глибина проплавлення притуплення від першого проходу з одного боку;

h_2 – глибина проплавлення притуплення від першого проходу з другого боку;

c – величина притуплення;

m – перекриття швів, дорівнює 1-3 мм.

Після того порядок розрахунку повторюється.

4 КУТОВІ ШВИ. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ І ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ШВА

При розрахунку параметрів режиму зварювання необхідно забезпечити отримання катету шва, виходячи із вимог надійності.

Послідовність виконання розрахунку кутових швів при зварюванні в “човник”, можна з деяким наближенням брати таку ж, як для стикових швів з кутом розроблення $\alpha = 90^\circ$. Параметри режиму зварювання кутових швів вибираються з врахуванням специфічних особливостей їх формування. При отриманні плоских або випуклих швів їх ширина повинна бути рівною відстані по горизонталі між зварюваними виробами (рис. 9 додаток 2). Якщо ширина шва буде більше цієї відстані, то виникають подрізи.

Порядок розрахунку параметрів режиму наступний:

1) визначаємо площу наплавленого металу за заданим катетом:

$$F_n = K^2/2; \quad (35)$$

де K – катет плоского шва;

2) визначаємо геометричні параметри шва:

а) висоту наплавленого металу визначаємо за формулою:

$$a = \sqrt{F_n}, \quad (36)$$

У випадку якщо зварювання з розробленням кромок та зазором, то величину розраховуємо за наступною формулою:

$$a = \sqrt{F_H - H \cdot e}, \quad (37)$$

б) ширина шва визначається за формулою:

$$b = \sqrt{2K^2}, \quad (38)$$

коефіцієнт форми шва таврового і кутового з'єднання, дорівнює відношенню ширини шва до загальної його висоти, повинен бути в межах 0,8...2,0 і розраховується за формулою:

$$\Psi_{ш} = b/H; \quad (39)$$

3) вибираємо діаметр електродного дроту виходячи з товщини зварюваного металу з таблиці 1;

4) визначаємо зварювальний струм і швидкість подачі електродного дроту за формулами 5 і 8.

Практикою встановлено, що задовільне формування кутових швів отримують при зварюванні на параметрах режиму, при яких густина струму в електроді знаходиться в межах, вказаних в таблиці 10.

Таблиця 10 – Залежність густини струму від діаметра електродного дроту

Діаметр електроду, мм	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0
Густина струму, А/мм ²	25-200	60-150	45-85	35-55	30-40

Якщо величина густини зварювального струму виходить за межі вказаних діапазонів, то проводиться коректування і уточнення діаметра електродного дроту;

5) визначаємо швидкість зварювання, яка дозволяє отримати при даній величині зварювального струму необхідну площу наплавлення за формулами 9 або 10;

6) визначаємо напругу на дузі за формулою 7 або з графіка на рис.3 додаток 2, причому U_0 необхідно вибирати ближче до нижньої межі її оптимального значення.

5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ВИБОРУ МАРКИ ЕЛЕКТРОДНОГО ЗВАРЮВАЛЬНОГО ДРОТУ ПРИ ЗВАРЮВАННІ РІЗНИХ МАРОК СТАЛЕЙ

Основною умовою при виборі марки електродного дроту при зварюванні різних марок сталей є те, що для забезпечення металу шва з такими ж механічними властивостями, як і основний метал, зварювальний дріт повинен мати ті ж легуючі елементи, що й зварюваний метал. Крім цього, при зварюванні в вуглекислому газі, який є активним окислювачем, в склад зварювального дроту вводяться розкислюючі елементи – кремній і марганець, а інколи і титан.

Для цього можна використати наступні рекомендації по виборі марок електродного зварювального дроту для різних марок сталей з таблиці 11.

Таблиця 11 – Рекомендовані марки електродного дроту для зварювання різних марок сталей

Марки зварюваних сталей		Марки дроту за ГОСТ 2246-70
Мало- і середньо- вуглецеві сталі	ВСт3сп, Сталь 10, Сталь 20, Сталь 35	Св-08ГС
Низько- і середньолегова ні сталі	10ХСНД, 15ХСНД, 14ХГС, 09Г2, 14Г2	Св-08Г2С
	20ХГС, 25ХГС, 30 ХГСН, 30ХГСА	Св-10ГСМ, Св-10ГСМТ, Св- 10ГХ2С
	15ХМА, 20ХМА, 1 2ХМ, 15ХМ, 34ХМ	Св-08ХГСМА, Св-08ХГ2СМ, Св-08ХГСМФ
Високолеговані сталі	0Х13, 1Х13, 12Х13, 20Х13 15Х12ВНМФ, 15Х11В2ВНМФ, Х18Н10Т	Св-10Х13, Св-08Х14, Св-08Х14ГНТ, Св-15Х12НМВФБ, Св-08Х19НСТ, Св-06Х19Н10МСТ, Св-07Х18Н10Т

Вибір параметрів режиму зварювання для сталей, які гартуються, теплостійких і високолегованих сталей мають свої особливості, які пов'язані з теплофізичними властивостями цих сталей і відношенням до термічного циклу зварювання.

Орієнтовні параметри режиму зварювання в вуглекислому газі високолегованих сталей без розроблення кромки приведені в таблицях 84 [2, с. 307], 10-28 [4, с. 615], 6-8 [6, с. 394].

6 Особливості розрахунку параметрів режиму зварювання в інертних газах

Дані методичні вказівки можуть бути також використані для розрахунку і вибору параметрів режиму зварювання і геометричних розмірів шва при зварюванні в інертних газах (аргоні, гелії) з врахуванням особливостей зварювальної дуги, плавлення електродного дроту і основного металу.

Для аргону і гелію необхідно вибирати відповідну марку електродного дроту, значення коефіцієнта K_a , напругу на дузі, коефіцієнт розплавлення електродного дроту і втрат електродного металу на розбризкування, ефективний ККД дуги і витрати захисного газу.

Марка електродного дроту вибирається виходячи із марки зварюваного металу [2-6], напруга на дузі при зварюванні в аргоні вибирається на 2-3 В менше порівняно із зварюванням в CO_2 , внаслідок меншого значення градієнта потенціалу в стовпі дуги, а при зварюванні в гелії напруга на дузі на 20-35 % вище в порівнянні із зварюванням в аргоні. Коефіцієнт розплавлення електродного дроту в аргоні і гелії на 3-5 % менше в порівнянні з CO_2 . Коефіцієнт втрат металу на розбризкування і вигорання в аргоні складає 1-3%, а в гелії 7-10 %. Витрати аргону при зварюванні практично дорівнюють витратам вуглекислого газу, а витрати гелію на тих же параметрах режиму на 30-40% більше, внаслідок його малої густини.

Значення коефіцієнта K_a , і ефективного ККД дуги в аргоні і гелії в залежності від параметрів режиму, в розрахунках їх значення орієнтовно можна взяти з даних при зварюванні у вуглекислому газі (таблиця 2, рис. 6, додатки).

Орієнтовні параметри режиму зварювання в аргоні високолегованих сталей наведені в таблицях 83 [2, с. 306-307], 26 [3, с. 115], 6 [6, с. 391].

7 ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ І ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ В ВУГЛЕКИСЛОМУ ГАЗІ

Приклад 1. Розрахувати і вибрати параметри режиму напіваавтоматичного зварювання в вуглекислому газі стикового з'єднання з маловуглецевої низьколегованої сталі товщиною 8 мм:

1) Згідно з ГОСТ 14771-76 для товщини металу 8 мм вибираємо двобічне зварювання без розроблення кромки з наступними конструктивними елементами /рис.2, додаток 2/:

- зазор між зварюваними виробами (e) - 1,5...1 мм;
- ширина шва (b) - 10 мм;
- величина підсилення шва (a) - 2...1,5 мм.

По кількості наплавленого металу даний вид зварного з'єднання є найбільш економічним;

2) визначаємо глибину проплавлення за формулою 2:

$$h_1=h_2=0,6 S=0,6 \cdot 8=4,8 \text{ мм.}$$

При цьому виконується необхідна умова отримання повного провару товщини металу:

$$h_1+h_2=S+m;$$

перекриття швів становить $m=1,6$ мм;

3) визначаємо діаметр зварювального дроту з табл.1, а марку дроту з таблиці 1.

Для низьколегованих сталей товщиною 8 мм вибираємо електродний дріт діаметром 1,6 мм марки Св-0,8Г2С за ГОСТ 2246-70;

4) розраховуємо величину зварювального струму за формулою 5, взявши значення K_a з таблиці 2:

$$I_{зв} = \frac{h}{K_a} = \frac{48 \cdot 100}{1,75} = 275 \text{ А.}$$

5) уточнюємо діаметр електродного дроту за формулою 6, з врахуванням даних таблиці 3:

$$d_e = 1,13 \sqrt{\frac{I_{зв}}{j}} = 1,13 \sqrt{\frac{275}{200}} = 1,32 \text{ мм};$$

діаметр електродного дроту приймаємо 1,6 мм;

6) визначаємо виліт електроду за таблицею 5. Виліт електроду вибираємо рівним 15 мм;

7) розраховуємо напругу дуги за формулою 7:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot I_{зв}}{1000 \cdot \sqrt{d_{ел}}} \pm 1 = 20 + \frac{50 \cdot 275}{1000 \cdot \sqrt{1,6}} + 1 = 30 \text{ В}.$$

Розрахована напруга дуги також відповідає даним таблиці 4 і рис.3, (додаток 2).

8) розраховуємо швидкість подачі дроту за формулою 8, або визначаємо з графіку рис.5 (додаток 2) і приймаємо - $V_{п.д.} = 300 \text{ м/год}$;

9) визначаємо швидкість зварювання за формулою 10 /параметри шва відомі/ попередньо вирахувавши площу поперечного перерізу наплавленого металу з одного боку за формулою 11:

$$F_H = F_B + F_3 = \mu_B \cdot b \cdot a + h_1 \cdot e ;$$

$$F_H = 0,73 \cdot 10 \cdot 2 + 4,8 \cdot 2 = 24,2 \text{ мм}^2;$$

$$V_{зв} = \frac{F_3 \cdot V_{пд}}{F_H} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2 \cdot 300}{24 \cdot 2} = 25,4 \text{ м/год}.$$

Так, як зварювання напівавтоматичне, то зварник повинен орієнтуватися на цю швидкість;

10) визначаємо витрати вуглекислого газу з таблиці 7. Орієнтовні витрати вуглекислого газу за ГОСТ 8050-76 повинні складати 15 л/хв.

Відстань від сопла пальника до виробу вибираємо рівним 10-12 мм (табл.7).

Зварювання з зворотнього боку виконуємо на аналогічних параметрах режиму.

Параметри шва в даному прикладі не розраховуються так як вони задані ГОСТом.

Приклад 2. Розрахувати і вибрати параметри режиму автоматичного зварювання в вуглекислому газі стикового з'єднання з малоковуглецевої сталі товщиною 14 мм:

1) за ГОСТ 14771-76 для товщини 14мм вибираємо одnobічний шов з V-подібним розробленням кромки з наступними конструктивними елементами підготовки кромки і зварного шва /рис.7, додаток2/:

- α -кут розроблення кромки - 40° ;
- д-висота розроблення - 12 ± 1 мм;
- е-зазор між виробами - 2 ± 1 мм;
- с-величина притуплення кромки - 2 ± 1 мм;
- в-ширина шва - 13 ± 3 мм;
- а-величина підсилення шва - 1 ± 1 мм;

2) визначаємо глибину проплавлення за формулою 1, приймаючи, що зварювання одnobічне однопровідне на флюсовій подушці

$$h = 0,7 \cdot S = 0,7 \cdot 14 = 9,8 \text{ мм.}$$

3) визначаємо діаметр зварювального дроту з табл.1, а марку з табл.11. Для маловуглецевих сталей товщиною 14 мм, вибираємо дріт діаметром 1,6мм марки Св-08Г2С /ГОСТ2246-70/;

4) розраховуємо величину зварювального струму за формулою (5), взявши значення K_a з таблиці 2:

$$I_{зв} = \frac{h}{K} = \frac{9,8 \cdot 100}{1,75} = 560 \text{ А;}$$

5) уточнюємо діаметр дроту за формулою з врахуванням даних табл.3, або табл.4:

$$d_e = 1,13 \sqrt{\frac{I_{зв}}{j}} = 1,13 \sqrt{\frac{560}{230}} = 1,76 \text{ мм}.$$

Тому що, розраховане значення діаметра електродного дроту незначно перевищує вибране значення, а крім цього, зварювання виконується з розробленням кромки, то діаметр залишається попередній.

З даних таблиці 4 також можна вибрати діаметр електродного дроту 1,6 мм;

6) визначаємо величину вильоту електродного дроту з табл.5. з врахуванням величини розроблення кромки – 12 мм, виліт електроду приймаємо 20 мм;

7) розраховуємо напругу на дузі за формулою (7):

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot I_{зв}}{1000 \cdot \sqrt{d_{ел}}} \pm 1 = 20 + \frac{50 \cdot 560}{1000 \cdot \sqrt{1,6}} \pm 1 = 40 \text{ В}.$$

Розраховане значення напруги дуги також відповідає даним таблиці 4 і рис.3 (додаток 2).

8) розраховуємо швидкість подачі електродного дроту за формулою (8), або визначаємо з графіка рис.5 (додаток 2).

В зв'язку з відсутністю значення коефіцієнта розплавлення на графіку рис.4 (додаток 2), орієнтовно визначаємо швидкість подачі (V_{nd}) з графіку рис.5 (додаток 2). і приймаємо $V_{nd} = 700 \text{ м/год}$;

9) визначаємо швидкість зварювання за формулою (9). Значення “А”, вибираємо з таблиці 6:

$$V_{зв} = \frac{A}{I_{зв}} = \frac{(5...8) \cdot 10^3}{560} = 9,9...14,2 \text{ м/год}.$$

Так, як конструктивні елементи розроблення кромки і зварного шва відомі з ГОСТу 14771-76, то швидкість зварювання можна визначити за формулою, попередньо вирахувавши площу

поперечного перерізу наплавленого металу за формулою 11 /рис.7 (додаток 2)/.

$$F_n = F_p + F_3 + F_b = 2 \cdot 1/2 \cdot d \cdot d \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2) + S \cdot e + \mu_b \cdot b \cdot a;$$

$$F_n = 2 \cdot 1/2 \cdot 12^2 \cdot 0,364 + 14 \cdot 2 + 0,76 \cdot 14 \cdot 2 = 100,8 \text{ мм}^2;$$

$$V_{36} = \frac{F_3 \cdot V_{n0}}{F_n} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2 \cdot 700}{100,8} 14,0 \text{ м / год}.$$

Дана швидкість зварювання не враховує витрати електродного металу на розбріскування. З врахуванням розбріскування металу, яке для зварювального струму 560 А складає 6-8 % /таблиця 8/, тоді розрахунок швидкості зварювання проводимо за формулою (17):

$$V_{36} = \frac{\alpha_n \cdot I_{36}}{3600 \cdot \gamma + F_n}; \text{ м / с}$$

Коефіцієнт наплавлення визначаємо за формулою (17):

$$\alpha_n = \alpha_p (1 - \psi);$$

Значення α_p , орієнтовно вибираємо з графіка, рис.4 (додаток 2)
 $\alpha_p = 25 \text{ Г/А} \cdot \text{год}.$

$$\alpha_n = 25 (1 - 0,08) = 23,0 \text{ Г/А} \cdot \text{год};$$

$$V_{36} = \frac{23,0 \cdot 560}{3600 \cdot 7,8 \cdot 1,008} = 0,455 \text{ см / с} = 16,3 \text{ м / год}.$$

Із-за деяких неточностей при визначенні швидкості подачі дроту і коефіцієнта наплавлення отримуємо за формулами 10 і 16 різні значення швидкості зварювання. З метою отримання даного перерізу

наплавленого металу зварювання проводимо з швидкістю, визначеною за формулою (10)-14 м/год;

10) визначаємо витрати вуглекислого газу з таблиці 7. Орієнтовні витрати вуглекислого газу і сорту за ГОСТ8050-76 повинен складати 18-20 л/хв. Відстань від сопла пальника до до виробу /з врахуванням розроблення кромки /вибираємо рівним 8 мм /табл.7/;

11) виконуємо перевірочний розрахунок глибини проплавлення за отриманими параметрами режиму, використовуючи формулу 21.

$$h = K \cdot \sqrt{\frac{q_n}{\psi_{np}}} = K \cdot \sqrt{\frac{0,24 \cdot I_{зв} \cdot U_d \cdot \eta}{V_{зв} \cdot \psi_{np}}};$$

попередньо визначаємо коефіцієнт форми провару за формулою (19):

$$\psi_{np} = K \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{зв}) \cdot \frac{d_e \cdot U_d}{I_{зв}} = 0,92(19 - 5,6) \cdot \frac{1,6 \cdot 40}{560} = 1,4.$$

$$h = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{0,24 \cdot 560 \cdot 40 \cdot 0,9}{0,38 \cdot 1,4}} = 1,54 \text{ см} = 15,4 \text{ мм}.$$

Так, як величина проплавлення (h) перевищує товщину зварюваного металу S, то параметри режиму залишаємо без зміни.

Геометричні параметри шва в даному випадку не розраховуються тому, що вони задані ГОСТом.

Приклад 3. Розрахувати і вибрати параметри режиму автоматичного зварювання в вуглекислому газі таврового з'єднання з маловуглецевої сталі товщиною 10 мм і катетом шва 5 мм.

1) за ГОСТ 14771-76 - для даного типу з'єднання товщиною 10 мм і катетом шва 5 мм вибираємо одностороннє зварювання без розроблення кромки з зазором між виробами $e = 0 \dots 1,5$ мм;

2) визначаємо площу наплавленого металу за формулою (35):

$$F_H = \frac{K^2}{2} = \frac{25}{2} = 12,5 \text{ мм}^2;$$

3) визначаємо висоту наплавленого металу за формулою (36):

$$a = \sqrt{F_H} = \sqrt{12,5} = 3,5 \text{ мм}^2;$$

4) визначаємо ширину шва за формулою (38):

$$b = \sqrt{2K^2} = \sqrt{2 \cdot 5^2} = 7,3 \text{ мм};$$

5) визначаємо загальну висоту шва за формулою (39), попередньо вибравши значення $\psi_{\text{ш}}$ з рекомендованої межі 0,8-2,0 мм:

$$\psi_{\text{ш}} = b/H, \text{ тоді } H = b/\psi_{\text{ш}} = 7,3/1,0 = 7,3 \text{ мм}.$$

Менше значення $\psi_{\text{ш}}$ відповідає великим струмам, відповідно великій продуктивності зварювання.

6) визначаємо глибину проплавлення за формулою (22):

$$h_0 = H - a = 7,3 - 3,5 = 3,8 \text{ мм};$$

7) вибираємо діаметр електродного дроту з табл.1, а марку дроту з табл.2. Для маловуглецевої сталі товщиною 10 мм, вибираємо дріт діаметром 1,6 мм і марку Св-08Г2С /ГОСТ2246-70/;

8) визначаємо зварювальний струм за формулою (5), взявши значення K_a з таблиці 2:

$$I_{\text{зв}} = \frac{h_0}{K_a} 100 = \frac{3,8}{1,75} \cdot 100 = 217 \text{ А} \approx 220 \text{ А}.$$

Густина струму не виходить за межі вказаного діапазону згідно табл. 8:

$$j = \frac{I_{\text{зв}}}{\pi \cdot r^2} = \frac{220}{3,14 \cdot 0,8^2} = 109 \text{ A / мм}^2;$$

9) визначаємо швидкість подачі електродного дроту з графіка рис.4 (додаток 2). Орієнтовно приймаємо для струму 220 А з графіка рис.5 (додаток 2) швидкість подачі електродного дроту (V_{ne}) - 220м/год;

10) розраховуємо напругу дуги за формулою (7):

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot I_{\text{зв}}}{1000 \cdot \sqrt{d_{el}}} \pm 1 = 20 + \frac{50 \cdot 220}{1000 \cdot \sqrt{1,6}} \pm 1 = 27,5 \text{ В};$$

11) визначаємо швидкість зварювання за формулою (10):

$$V_{\text{зв}} = \frac{F_{el} V_{ne}}{F_n} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2 \cdot 220}{12,5} = 32 \text{ м / год} = 0,88 \text{ см / с};$$

12) перевіряємо чи забезпечують розраховані параметри режиму отримання потрібної площі наплавленого металу за формулою (16):

$$F_n = \frac{\alpha_n \cdot I_{\text{зв}}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{\text{зв}}}, \text{ см}^2;$$

Коефіцієнт наплавлення визначаємо за формулою (17):

$$\alpha_n = \alpha_p (1 - \Psi);$$

Значення коефіцієнта розплавлення (α_p) вибираємо з графіка рис.3 (додаток 2) і він становить $\alpha_p = 14, \text{ Г/А} \cdot \text{год}$.

Коефіцієнт втрат електродного металу на розбризкування визначаємо за формулою 18:

$$\psi = -4,72 + 17,7 \cdot 10^{-2} \cdot j - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot j^2 = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot 109 - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot 109^2 = 9,2 \%;$$

тоді $\alpha_H = 14 (1 - 0,091) = 12,7 \text{ Г/А} \cdot \text{год}.$

$$F_H = \frac{12,7 \cdot 220}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,88} = 0,113 \text{ см}^2 = 11,3 \text{ мм}^2.$$

Через витрати електродного металу на розбризкування розраховані параметри режиму не забезпечують отримання необхідної площі наплавленого металу, а тому проводимо коректування параметрів режиму зварювання за рахунок зменшення швидкості зварювання:

$$V_{зв} = \frac{\alpha \cdot I_{зв}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_H} = \frac{12,7 \cdot 220}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,125} = 0,79 \text{ см/с} = 28,6 \text{ м/год}.$$

В ряді випадків можна зразу визначити швидкість зварювання за формулою 16;

13) визначаємо виліт електродного дроту з сопла пальника за табл. 5. Виліт електроду орієнтовно приймаємо рівним 15...18 мм;

14) визначаємо витрати вуглекислого газу з табл.7. Орієнтовні витрати вуглекислого газу і його сорту за ГОСТ 8050-76 становлять 15 л/хв. Відстань від сопла пальника до поверхні виробу вибираємо рівній 12-14 мм /таблиця 7/.

Перелік посилань

- 1 Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры: ГОСТ 14771-76 - М.: Издательство стандартов. М.:1976-60 с.
- 2 Акулов А.И. Технология и оборудование сварки плавлением / Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. - М., Машиностроение. 1977, 431 с.
- 3 Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом / Потапьевский А.Г. - М., Машиностроение, 1974, 210 с.
- 4 Б.Е. Патона. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Б.Е. Патона. - М., Машиностроение, 1974, 759 с.
- 5 Биковський О.Г. Довідник зварника / Биковський О.Г., Пінковський І.В. - К., Техніка. 2002, 336с.
- 6 Каховский Н.И. Электродуговая сварка / Каховский Н.И., Фартушный В.Г., Ющенко К.А. - Наукова думка, К., 1975, 479 с.
- 7 Терещенко В.И. Выбор и применение способов сварки при изготовлении конструкций / Терещенко В.И., Либанов А.В. - К., Наукова думка, 1987, 190 с.
- 8 Оботуров В.И. Дуговая сварка в защитных газах / Оботуров В.И. - М., Стройиздат, 1989, 229 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1

ПАРАМЕТРИ РЕЖИМУ НАПІВАВТОМАТИЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ В ВУГЛЕКИСЛОМУ ГАЗІ

Параметри режиму напівавтоматичного зварювання плавким електродом в вуглекислому газі вибираються або розраховуються в залежності від марки і діаметра зварювального електродного дроту і характеру виконаних швів. Параметри режиму вибираються в межах, які рекомендовані в паспорті на цей дріт.

Діаметр дроту вибирається в залежності від товщини металу, який зварюють, катета шва і від якості складання під зварювання.

Таблиця 1-Залежність діаметра електродного дроту ($d_{ел}$) від товщини зварюваного металу (S)

Товщина металу, мм	0,6-1	1-2	2-4	5-8	8-12	12-18
Діаметр дроту, мм	0,5-0,8	0,8-1	1-1,2	1,6-2	2	2-2,5

Величину зварювального струму для виконання швів в нижньому положенні вибирають в залежності від діаметра дроту (таблиця 2).

Таблиця 2 - Залежність величини зварювального струму від діаметра електродного дроту і густини струму (j)

Параметр	Діаметр електродного дроту, мм					
	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5
Величина струму, А	50-100	70-120	90-150	140-300	200-500	300-700
Гус.струму, А/мм ²	100	85	80	70	75	60

Витрати вуглекислого газу в залежності від положення шва в просторі і від швидкості руху навколишнього повітря коливаються в межах 5-20 л/хв.

Зварювання в вуглекислому газі виконують на постійному струмі зворотної полярності застосовуючи джерела живлення з жорсткою характеристикою. Можливе зварювання від джерела живлення з іншими характеристиками і на змінному струмі з осцилятором, но при цьому збільшується розбрикування електродного металу і погіршується формування зварного шва.

Зварювання необхідно проводити короткою дугою при напрузі 17-21 В. Збільшення напруги приводить до підвищення розбрикування електродного металу і сильного окислення металу шва, що сприяє утворенню пор в металі шва.

Таблиця 3 - Орієнтовні параметри режиму напівавтоматичного зварювання вуглецевих сталей плавким електродом в вуглекислому газі марки Св-08Г2С

Товщина металу, <i>мм</i>	Параметри режиму зварювання					
	Струм зварювання, <i>А</i>	Напруга, <i>В</i>	Швидкість зварювання, <i>м/год</i>	Витрати газу, <i>л/хв</i>	Діаметр дроту, <i>мм</i>	Виліт електрода, <i>м</i>
1,0	30-50	17-18	20-26	6	0,5-0,7	5-8
	60-70	17	25-40	6-7	0,8	7-12
1,5	85-110	30-40	30-40	6-7	0,8	7-21
	100-110	18-19	30-40	6-7	1,0	8-15
	120-160	19-20,5	35-45	6-7	1,2	9-13
2,0	110-140	19-20	20-30	6-7	0,8	7-12
	130-150	20-21	30-35	6-8	1,0	8-13
	160-180	21	35-40	6-8	1,2	9-15

Таблиця 4 - Орієнтовні параметри режиму зварювання в
вуглекислому газі високолегованої (нержавіючої) сталі марки
X18H10T електродним дротом марки Св-1Х18Н10Т

Діаметр дроту, <i>мм</i>	Товщина металу, <i>мм</i>	Звар. струм, <i>А</i>	Напруга на дузі, <i>В</i>	Швидкість звар., <i>м/год</i>	Виліт електр., <i>мм</i>	Витрати газу в <i>л³/хв</i>	Примітка
0,8	1,0	50-60	17	40	5-7	6-7	На мідній підкладці
	1,5	75-95	17-18	30-40	5-7	6-7	
	2,0	85-110	18-19	25-35	5-7	6-7	
1,0	1,5	75-100	17-18	30-40	6-7	6-8	На мідній подушці
	2.0	120- 130	18-19	30-40	6-8	6-8	На мідній подушці

В якості захисних газів при зварюванні легованих сталей застосовують аргон або суміш аргону з киснем. Добавки O₂ покращують капельне перенесення електродного металу, стійкість горіння дуги, загальне формування шва, а також окислює водень в зоні зварювання і тим самим зменшує можливість виникнення пор в металі шва.

ДОДАТОК 2

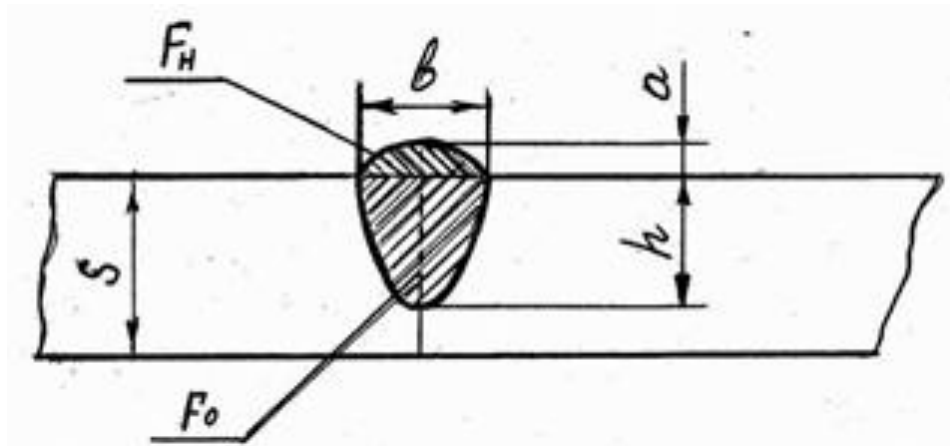


Рис. 1а – Основні геометричні розміри стикового шва при однібічному зварюванні

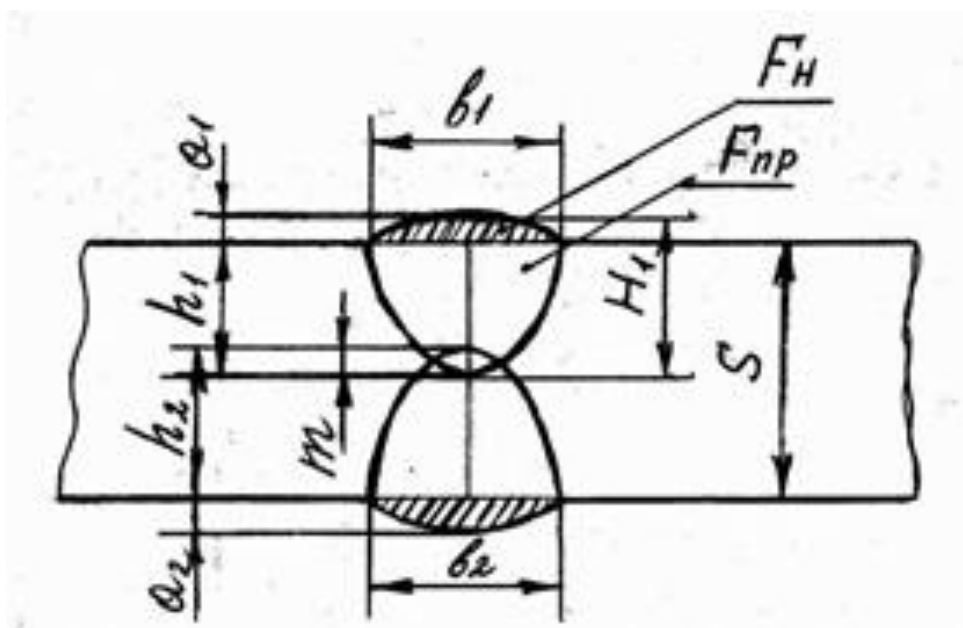


Рис. 1б – Основні геометричні розміри стикового шва при двобічному зварюванні

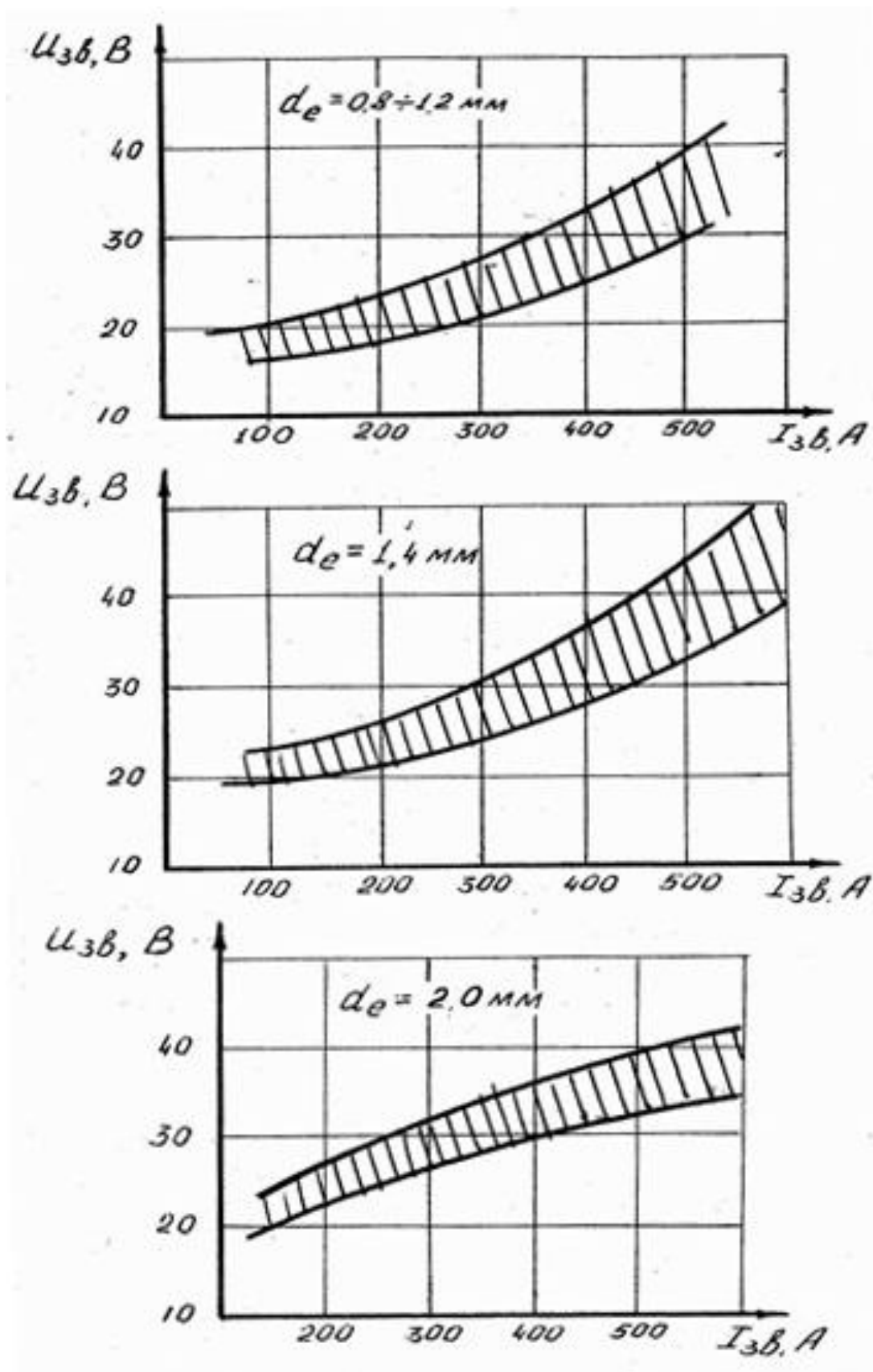


Рис. 2 – Границі оптимальних значень напруги на дузі

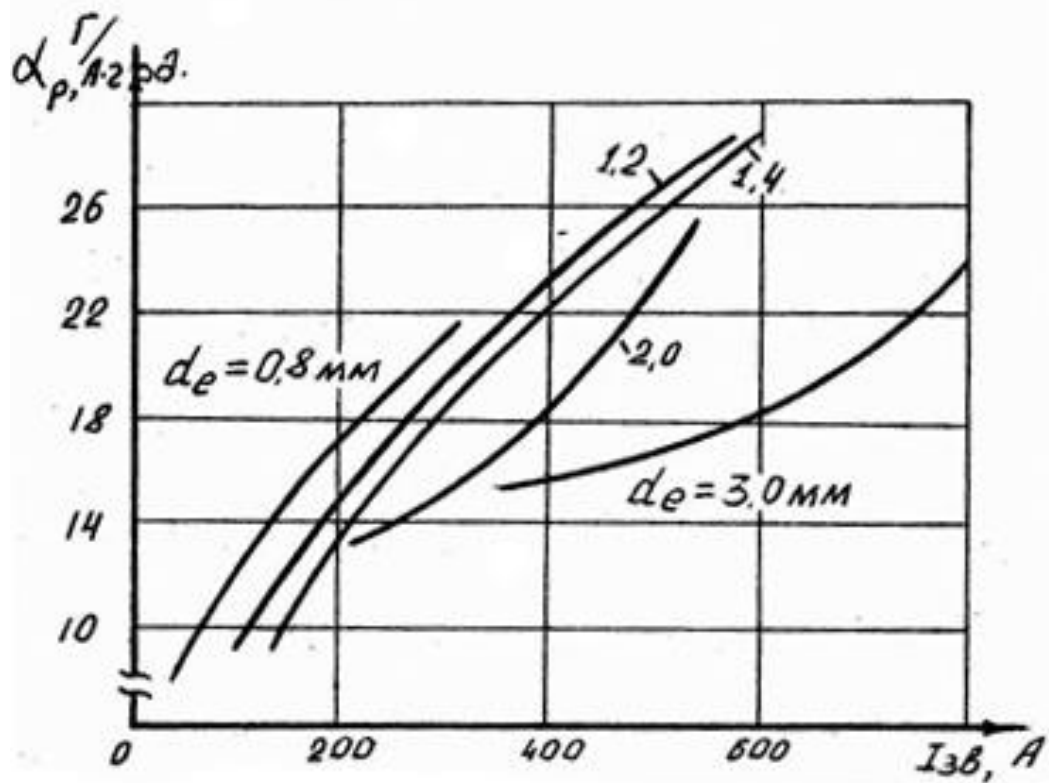


Рис. 3 – Залежність коефіцієнта розплавлення (α_p) від сили струму ($I_{зв}$) і діаметру дроту ($d_{ел}$)

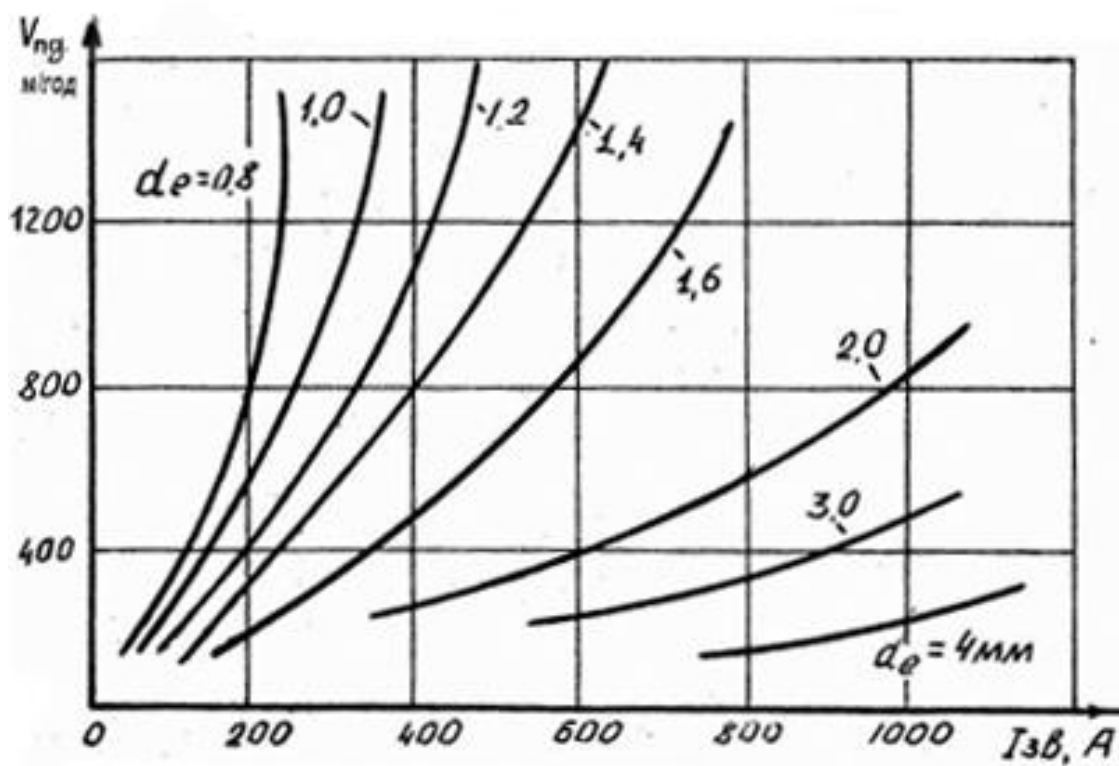


Рис. 4 – Залежність швидкості подачі дроту ($V_{п.д.}$) від діаметру ел.дроту ($d_{ел}$) і зварювального струму ($I_{зв}$)

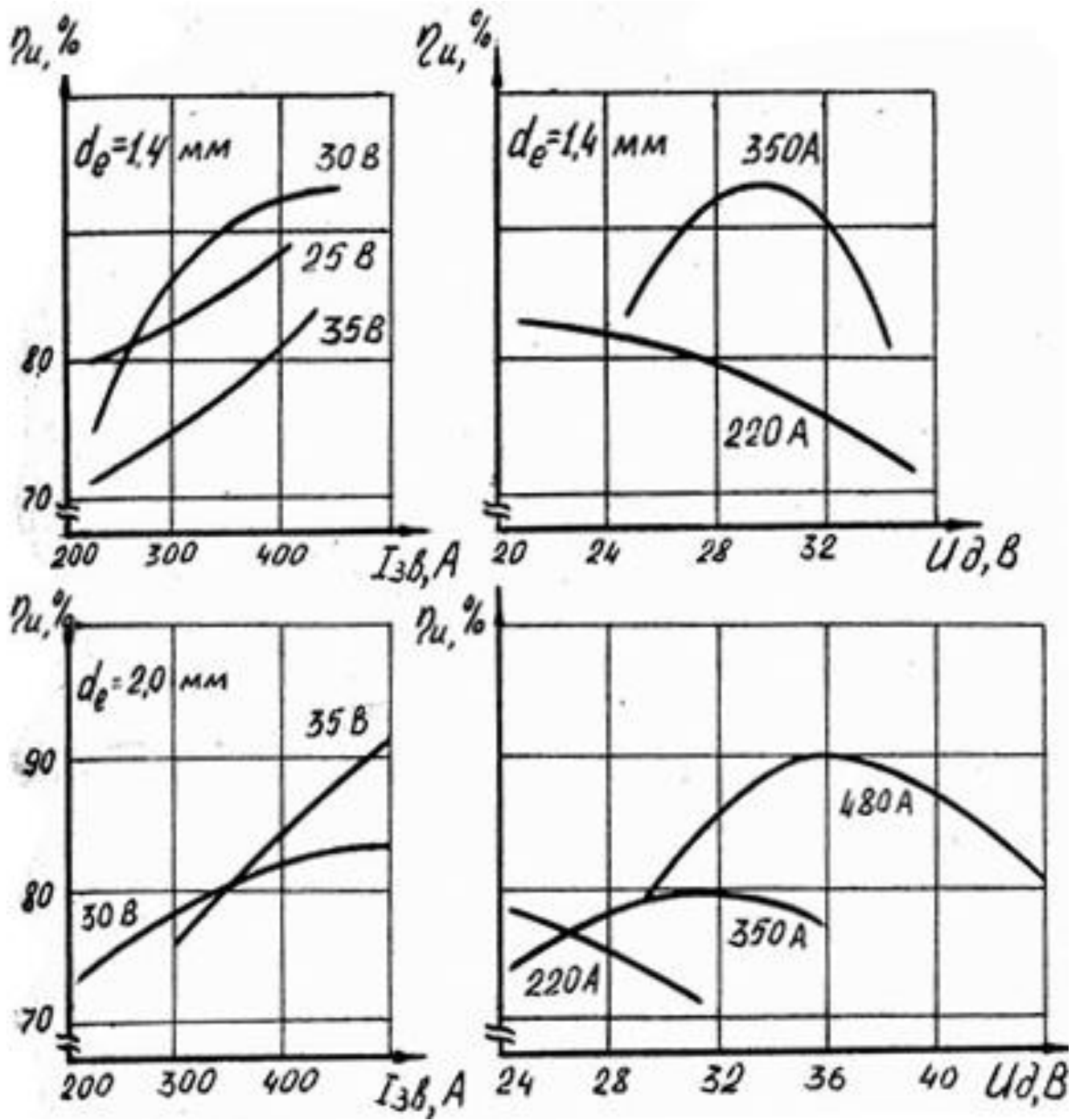


Рис. 5 – Залежність ефективного коефіцієнта корисної дії (η_u) дуги від параметрів режиму зварювання (I_{zv} , U_d , $d_{ел}$)

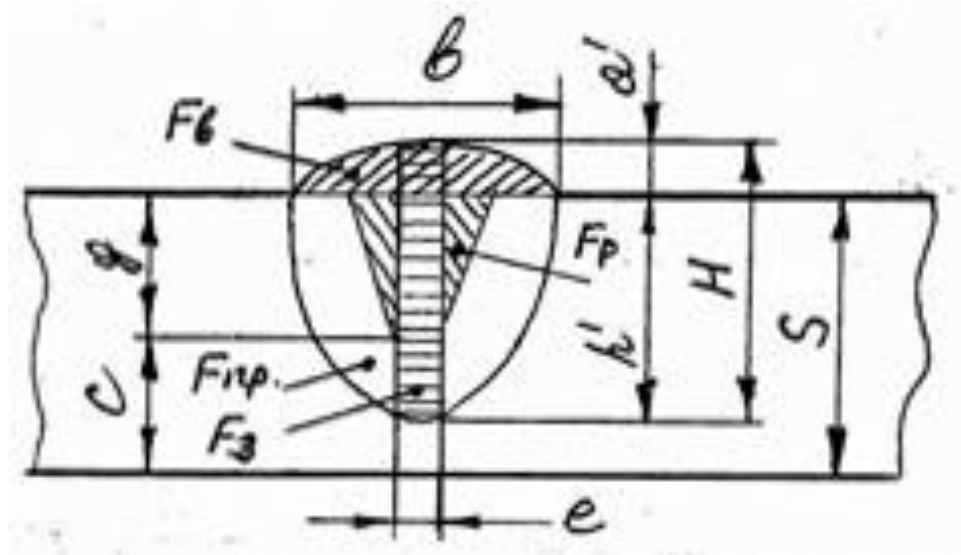


Рис. 6 – До розрахунку висоти посилення шва при наявності розробки і зазору

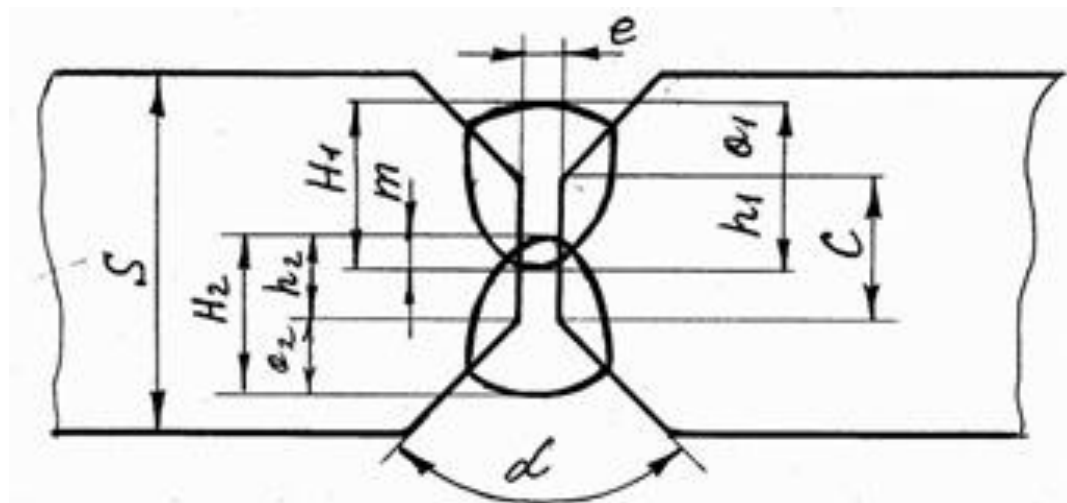


Рис. 7 – Конструктивні елементи розробки кромки шва при двобічному зварюванні

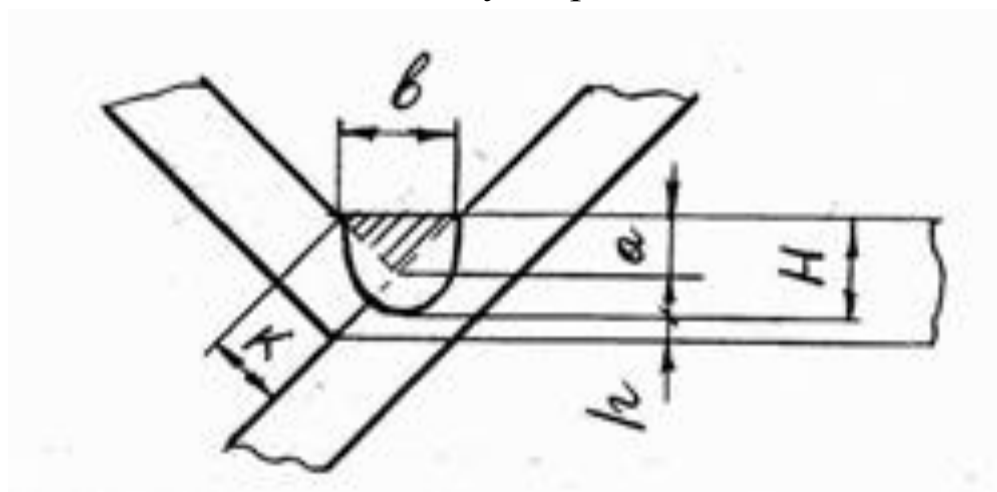


Рис. 8 – Конструктивні елементи кутового шва при зварюванні в «ЧОВНИК»